NOTICE

SUR LES

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. E. GUYOU,

CAPITAINE DE FRÉGATE,
CHEF DU SERVICE DES INSTRUMENTS DE NAVIGATION,
EXAMINATEUR D'ADMISSION A L'ÉCOLE NAVALE.

PARIS,
GAUTHIER-VILLARS ET FILS, IMPRIMEURS-LIBRAIRES
DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,
Quai des Grands-Augustins, 55.

1893

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17

NOTICE

SUR LES

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. E. GUYOU.

La plupart des travaux que j'ai l'honneur de soumettre à l'appréciation de l'Académie se rapportent aux branches des sciences nautiques qui intéressent les marins. Mes diverses études ont eu, en effet, pour principal objet le développement des connaissances scientifiques nécessaires aux fonctions que j'ai été appelé successivement à remplir comme Officier de marine.

J'ai pu acquérir l'expérience pratique indispensable pour traiter avec fruit les sujets de cette nature dans le cours d'une carrière de trente-trois années, pendant lesquelles je n'ai pas cessé de remplir des emplois attribués par les règlements aux Officiers du cadre naviguant auquel j'appartiens, et sur lesquelles je compte dix-neuf années d'embarquement, dont deux de commandement.

Appelé en 1880, après vingt années de services particulièrement actifs, à enseigner à l'École Navale la Théorie du navire, puis l'Astronomie nautique, j'ai acquis dans ces fonctions une expérience d'un autre ordre, mais non moins utile à un auteur pour traiter les questions dans la forme et avec la mesure qui conviennent au public spécial auquel il s'adresse.

Enfin, chargé depuis 1886 de la direction du Service des Instru-

ments de navigation, j'ai dû, pour les besoins mêmes de ce service, me livrer à une étude spéciale des principes théoriques sur lesquels sont fondés ces instruments.

Les Ouvrages et les Mémoires que j'ai publiés dans ces divers ordres de connaissances ont eu pour objet : d'une part, de faciliter aux marins, par des démonstrations plus simples et plus claires, mais toujours exactes, l'étude de sujets, utiles à leur profession, qu'une exposition trop compliquée avait fait exclure de leur enseignement, et, d'autre part, de porter à leur connaissance les propriétés nouvelles d'intérêt pratique que j'avais eu l'occasion de rencontrer dans mes recherches.

Pénétré de l'idée que, dans les sciences d'application, toute la valeur d'un travail réside dans l'utilité pratique de ses conséquences, et guidé par mon expérience professionnelle, je crois avoir réussi à éviter les spéculations sans intérêt dans lesquelles se sont égarés parfois d'éminents géomètres étrangers (1) à la profession de marin.

L'accueil qu'a fait à mes travaux le public maritime et les appréciations bienveillantes dont ils ont été l'objet me laissent espérer du moins que mes efforts n'ont pas été tout à fait stériles.

En *Mécanique du navire,* je me suis attaché surtout à étudier les questions au point de vue qui intéresse les marins.

Cette science a été si longtemps écartée de l'enseignement des officiers, ou, du moins, réduite à des notions si succinctes, que son nom seul éveille encore chez quelques personnes l'idée de connaissances spéciales aux constructeurs. Mais on conçoit aisément que rien de ce qui concerne la stabilité ne saurait rester étranger à ceux auxquels les bâtiments sont exclusivement confiés dès qu'ils sont sortis du périmètre des arsenaux, et que, plus généralement, la connaissance des propriétés mécaniques des navires n'est pas moins utile au marin appelé à les mettre en œuvre qu'au constructeur chargé de déterminer les formes (2). La science du constructeur et celle du marin, en

(1) Bouguer et Euler.

(2) Des notions de Mécanique du navire viennent d'être introduites dans les programmes des capitaines au long cours.

dehors de principes généraux communs, forment deux branches aussi distinctes que les professions elles-mêmes; et je me fais un scrupule de déclarer que je n'ai aucune compétence pour les sujets qui constituent les parties essentielles de la première.

Pour faciliter aux marins l'étude d'une science aussi indispensable à leur profession, j'ai appliqué à toutes mes recherches les méthodes géométriques, qui offrent l'avantage de parler aux yeux et de n'exiger du lecteur que des connaissances élémentaires.

Non moins fécondes cependant, dans cet ordre de sujets, que les méthodes analytiques, celles que j'ai employées m'ont permis d'établir sur des bases rigoureuses les principes généraux relatifs à la stabilité de l'équilibre des corps flottants et à sa mesure, et m'ont conduit à un certain nombre de propriétés nouvelles, introduites depuis dans l'enseignement des deux Écoles de la Marine qui s'occupent de cette science.

Dans un Mémoire sur les variations de la stabilité notamment, j'ai fait voir que toutes les propriétés résultant, soit de variations dans le chargement du navire, soit de l'échouage, dépendaient de la position d'un point situé sensiblement à la rencontre des normales aux murailles à la flottaison. Cette propriété permet au marin d'apprécier à vue, et pour ainsi dire sans calculs, l'influence sur l'assiette de son navire ou sur ses qualités nautiques, de circonstances qui se reproduisent fréquemment dans le cours de la navigation.

Cette théorie ne concerne que les poids assez faibles pour que l'on puisse négliger l'épaisseur de la tranche immergée. Je l'ai étendue plus tard (*Théorie du navire*) à des poids quelconques.

Dans la théorie ainsi généralisée, les questions de stabilité proprement dite et de variations finies ou infiniment petites ne sont plus que des cas particuliers dont on obtient la solution en supposant un poids égal à celui du navire, ou un poids additif fini ou infiniment petit.

Pour ce qui concerne le navire en mouvement, j'ai soumis à une analyse scientifique, aussi précise que le permettait le sujet, les phénomènes mécaniques de diverses natures au milieu desquels les marins sont appelés à vivre, afin d'en dégager les lois et d'arriver à formuler les règles à suivre, soit pour s'affranchir des inconvénients qu'ils occasionnent, soit pour les utiliser dans les manœuvres.

La publication d'un Mémoire relatif aux effets des mouvements du navire sur le personnel et le matériel embarqués a mis fin à une longue série de recherches ingénieuses, mais vaines, ayant pour objet l'application des niveaux liquides à la mesure des hauteurs des astres à la mer.

Les résultats obtenus dans ce travail m'ont permis également de montrer que, contrairement à l'opinion générale, les accélérations qui troublent les instruments délicats et qui donnent le mal de mer au personnel étaient dues, le plus souvent, non aux mouvements angulaires, mais aux mouvements de translation de la carène abaissée et élevée tour à tour sur le profil des ondes.

Pour ce qui concerne les pressions du liquide sur les carènes, j'ai laissé de côté les sujets relatifs à l'influence des formes et des divers propulseurs sur les vitesses, pour lesquels l'ingénieur seul est compétent. Je ne me suis occupé de ces forces qu'au point de vue des manœuvres et des évolutions dont elles sont les principaux agents. Une analyse de phénomènes avec lesquels tous les marins sont familiers m'a permis de discerner, pour les résistances au mouvement oblique, des principes généraux qui fournissent l'explication rationnelle des conditions d'équilibre des allures et des manœuvres à faire dans le halage à la cordelle et dans les dérives en rivière. Enfin, par une analyse des courbes de girations relevées lors des essais des navires, j'ai montré que le plan longitudinal se meut le long d'une courbe à laquelle il reste sensiblement tangent par un point fixe situé près de l'avant. Cette remarque permet de déterminer l'étendue de la bande balayée par le navire dans les girations et de formuler par suite des règles précises pour guider le manœuvrier dans les évolutions en escadre ou près des dangers.

Ces divers sujets ont été réunis dans un Ouvrage intitulé *Théorie du navire,* le premier de cette nature qui ait été publié en vue des officiers de marine.

L'accueil qu'a reçu cet Ouvrage [1] témoigne du vif intérêt que portent les marins à cette science jusqu'alors à peu près écartée de leur enseignement. Peut-être aussi voudra-t-on bien pardonner à l'au-

[1] La première édition est épuisée, une deuxième est sous presse.

teur le sentiment que le choix des sujets qu'il renferme et la manière dont il a été traité n'ont pas été tout à fait étrangers à ce résultat.

J'espère enfin avoir facilité les progrès ultérieurs de cette science en portant son état actuel à la connaissance de ceux qui, appelés à vivre au milieu des phénomènes, sont les mieux placés pour en discerner les lois.

L'Académie a bien voulu récompenser cet Ouvrage d'un prix (prix Plumey), sur l'avis d'une Commission composée de MM. Jurien de la Gravière, Pâris, Phillips, Resal, amiral de Jonquières, rapporteur. Le rapport de l'amiral de Jonquières contient les appréciations suivantes :

« Il était devenu indispensable qu'un auteur versé dans la connaissance de la Mécanique et du Calcul, et, s'il était possible, *initié par sa profession à la pratique de la navigation,* vînt mettre à la portée de tous ceux qui sont curieux de cet art un Ouvrage présentant, sous une forme exacte, mais assez élémentaire, les principes et les faits sur lesquels repose, de nos jours, la mécanique de cet être semi-animé qui s'appelle le *navire.*

» M. Guyou, dont l'Académie a plus d'une fois apprécié le talent, s'est acquitté de cette tâche dans la mesure parfaite où la simplicité de l'exposition et les exigences de la Science se peuvent concilier.... De la sorte, son livre présente un résumé serré et substantiel de ce que l'on sait aujourd'hui par d'autres et par lui sur la théorie du navire.... ».

» ... Ainsi, la *Théorie du Navire* de M. Guyou est l'œuvre d'un géomètre autant que d'un *marin.* Elle justifie l'appréciation que nous en portions au début de ce Rapport, et nous n'hésitons pas à dire qu'il n'est aucun marin, officier ou ingénieur, qui ne trouve de l'intérêt à le lire et du profit à l'étudier; il est éminemment propre à l'enseignement, et il y rendra de sérieux services. »

Je citerai enfin un Mémoire de nature plus spéciale (*Développements de Géométrie du Navire*), fait en collaboration avec M. Simart, et dont l'Académie a bien voulu décider l'insertion dans le tome XXX du *Recueil des Savants étrangers.* Commission : MM. Phillips, Maurice Lévy, Sarrau, de Jonquières, rapporteur. Ce Mémoire établit dans tout son dé-

veloppement la loi de dépendance entre les formes des murailles des navires et celles des courbes des centres de carène et des flottaisons.

En *Astronomie nautique,* les travaux sur lesquels je désire appeler plus particulièrement l'attention sont relatifs aux méthodes à employer pour la détermination de la position du navire au large. Ces travaux ont été publiés, pour la première fois, dans mon cours autographié de l'École navale et sont restés depuis dans l'enseignement classique.

J'ai signalé de nouvelles propriétés des courbes spéciales dont le tracé sur la carte donne le *point* du navire dans les nouvelles méthodes de Navigation, et montré que ces propriétés conduisaient à une méthode aussi simple qu'inattendue pour résoudre ce problème à l'aide des petites Tables calculées exclusivement en vue du tracé du canevas des Cartes de Mercator. Une première édition d'un petit Volume de Tables, publiées en vue de cette méthode, est à peu près épuisée.

En outre, par une analyse plus complète du problème du réglage des chronomètres à la mer au moyen des distances lunaires, j'ai montré que, contrairement aux assertions alors classiques, l'influence des erreurs d'observation est indépendante de la grandeur de la distance observée.

Il résulte de là que les marins ont tout avantage à choisir les petites distances qui sont plus aisément observables. L'avantage des petites distances au point de vue de la précision avait déjà été reconnu expérimentalement par divers officiers (amiral Mottez, Perrin, lieutenant de vaisseau). On expliquait ce résultat, en contradiction formelle avec les indications des théories admises, par une sorte de compensation due à l'accroissement de la précision des mesures. Cette explication peu satisfaisante laissait trop de doutes à l'esprit pour permettre l'abandon des grandes distances. Le résultat auquel j'ai été conduit a levé tous ces doutes.

Je signalerai enfin deux Mémoires écrits en 1885, puis en 1893, et relatifs à divers perfectionnements à apporter aux Éphémérides astronomiques publiées en vue des navigateurs, pour faciliter les calculs qui reviennent le plus fréquemment à la mer. Mes propositions ont été

soumises par le Ministre de la Marine à l'examen du Bureau des Longitudes qui, avec sa sollicitude habituelle pour les intérêts de la Navigation, a bien voulu, à la suite du premier Mémoire, apporter à la *Connaissance des Temps* les modifications signalées dans une Lettre adressée au Ministre par M. Faye, président du Bureau, et dont j'extrais les lignes suivantes :

« Après examen, et conformément à ces propositions, le Bureau des Longitudes a décidé : 1° que l'heure du passage des principales planètes au méridien de Paris serait donnée désormais exactement et non au dixième de minute; 2° que les heures des passages de la Lune par 24 méridiens équidistants seraient publiées jour par jour dans nos Éphémérides à partir de l'année 1888....

» Telles sont, Monsieur le Ministre, les parties du travail de M. Guyou qui nous ont paru utiles. La décision du Bureau qui les introduira désormais dans la *Connaissance des Temps* est un témoignage que nous vous prions de porter à la connaissance de cet officier distingué. » *Signé :* FAYE. (11 novembre 1885.)

Enfin, conformément aux nouvelles propositions présentées en 1893, le Bureau a décidé l'introduction d'un élément de création nouvelle : l'angle horaire à midi moyen des planètes principales, dans l'*Extrait de la Connaissance des Temps*, publié spécialement en vue des marins. A cette occasion, et en raison des avantages qui résultent pour la navigation de l'adoption de ces mesures, le Ministre de la Marine voulut bien m'exprimer sa satisfaction dans une Lettre officielle trop bienveillante pour que je puisse en reproduire ici les termes.

Pour ce qui concerne les *Instruments de navigation*, mes travaux sont de deux natures : les uns ont eu pour objet la transformation générale d'un matériel qui n'était plus à la hauteur des progrès de la science, ni des besoins actuels de la Navigation; les autres ont consisté dans la publication d'un Ouvrage destiné à répandre parmi les marins les connaissances scientifiques et pratiques nécessaires pour tirer des instruments tout le parti dont ils sont susceptibles, et d'un Mémoire contenant une étude théorique et expérimentale des déviations des compas placés sous cuirasse.

Le Service des Instruments nautiques, réuni autrefois à celui des Instruments hydrographiques, a été confié, depuis 1881, à des officiers du cadre naviguant, à cause de l'expérience nécessaire pour prévoir les besoins du service à la mer (Rapport du Ministre au Président de la République à l'appui du décret de création du nouveau Service). Lorsque la direction m'en a été confiée, en 1886, le matériel réglementaire des compas de la flotte était encore à peu près celui de l'ancienne Marine : roses lourdes, manquant de stabilité et de sensibilité à la mer, et dont la compensation était impossible. Les déviations atteignaient couramment et dépassaient souvent 20°.

Depuis une vingtaine d'années, la théorie des déviations fondée par Poisson avait été définitivement élucidée, grâce à la collaboration de savants et de marins anglais, et en 1878, Sir William Thomson avait fait connaître la rose admirable dont l'introduction a permis l'application rationnelle des méthodes de compensation indiquées par la théorie. L'insuffisance de nos compas nécessitait donc des perfectionnements urgents.

Il ne pouvait, évidemment, être question de mettre au rebut un matériel d'une valeur aussi considérable; la transformation complète en a été exécutée de 1886 à 1891, en prenant pour guide l'instrument de Sir William Thomson et les indications de la théorie. Aujourd'hui, les Tableaux de déviation dressés lors de l'armement de chaque navire, et transmis à mon service, témoignent d'une compensation complète, ou du moins d'une compensation aussi complète que le permettent les circonstances locales indépendantes de l'instrument lui-même. Comme complément à ces résultats, le Ministre de la Marine, par une circulaire du 10 juillet 1892, a rendu réglementaire, conformément à mes propositions, un ensemble de mesures relatives à l'étude rationnelle du champ magnétique dans lequel sont placés les compas à bord des bâtiments, ainsi que l'enregistrement à la mer de toutes les circonstances susceptibles d'éclairer sur les points que la théorie n'a pas encore pu élucider.

Des études relatives à l'adoption d'un nouveau perfectionnement, l'éclairage des compas par la lumière électrique, viennent d'être terminées; ces études ayant montré que, sous réserve de certaines précautions d'ailleurs faciles, ce mode d'éclairage n'offrait pas d'inconvé-

nients sensibles, les modifications nécessaires à l'application vont être entreprises prochainement.

Les compas ne sont pas les seuls instruments dont l'amélioration ait nécessité des études ayant un caractère scientifique. Je puis encore citer notamment les baromètres marins. Sur ma proposition, le baromètre à mercure réglementaire qui manquait de précision et dont la colonne oscillait souvent à la mer de plusieurs centimètres a été remplacé par le modèle de Kiev, déjà adopté par le Bureau central météorologique pour les navires.

Toutefois, des rapports dont l'envoi avait été provoqué par le Comité hydrographique ayant signalé des oscillations encore gênantes du niveau du mercure dans ce baromètre, j'ai dû, pour parer à cet inconvénient, chercher à caractériser par un coefficient convenable les qualités des différents instruments à ce point de vue. Pour cela, j'ai étudié la loi de l'écoulement du mercure dans le tube; puis, ayant constaté ainsi que la vitesse satisfaisait sensiblement à la loi établie par Poiseuille pour le cas des écoulements permanents, j'ai choisi le nombre représenté par la formule $2t_1 - t_2$ dans laquelle t_1 et t_2 désignent respectivement les intervalles nécessaires au niveau du mercure pour descendre de $h_0 + 20^{mm}$ à $h_0 + 10$ et de cette dernière hauteur à $h_0 + 5$. Ces deux nombres sont égaux quand on n'a pas commis d'erreur sur la hauteur d'équilibre h_0; la formule ci-dessus élimine l'influence d'une petite erreur sur cet élément.

Des expériences exécutées à la mer par gros temps sur différents navires m'ont conduit à fixer entre $2', 5$ et $4'$ les limites à imposer aux constructeurs.

La vérification de l'échelle de ces baromètres a été confiée, sur ma demande, avec l'autorisation bienveillante de M. Mascart, au Bureau central météorologique, dont le personnel exercé et les ressources offrent des garanties de précision que ne pourrait donner un service de la Marine.

J'ajouterai enfin que, d'une manière générale, les transformations nombreuses apportées au matériel des instruments sous ma direction ont nécessité la création de méthodes nouvelles de vérification et d'instruments spéciaux de contrôle. D'un autre côté, les maisons de construction étant étrangères aux questions maritimes, l'intervention di-

recte du chef de service a été indispensable jusque dans les détails de la fabrication.

L'Ouvrage *Description et usage des instruments nautiques* a été écrit pour combler une lacune, signalée à différentes reprises, dans les instructions techniques délivrées réglementairement aux officiers des bâtiments armés.

J'ai réuni dans cet Ouvrage tous les renseignements utiles recueillis auprès des constructeurs, ainsi que les résultats de mes études personnelles sur les instruments. Cet Ouvrage a été honoré par l'Académie d'une partie du prix de la Marine, conformément aux propositions d'une Commission composée de MM. Pâris, de Jonquières, Jurien de la Gravière, de Bussy, Bouquet de la Grye, rapporteur.

M. Bouquet de la Grye a bien voulu, dans son Rapport, faire remarquer que cet Ouvrage contient quelques propriétés intéressantes nouvelles relatives aux compas et signaler l'accueil très favorable qu'il a reçu de la part des officiers de Marine.

Enfin le Mémoire relatif aux déviations des compas placés sous cuirasse contient l'étude complète, théorique et expérimentale, des termes d'ordre supérieur de la formule des déviations. Les résultats constatés sur les compas des cuirassés français *Requin* et *Amiral Baudin* confirment l'avis, émis par M. Faye dans son *Traité d'Astronomie nautique*, que l'addition de ces termes est indispensable pour réduire les différences entre les résultats de la formule et ceux de l'observation aux grandeurs dont sont susceptibles les erreurs de mesure.

Parmi les conclusions pratiques de ce travail, je citerai :

1° L'inaptitude des correcteurs que l'on a essayé de substituer aux sphères de Sir William Thomson pour corriger les grandes déviations dues au magnétisme induit ;

2° La propriété que les coefficients des termes d'ordre supérieur sont des fonctions simples des coefficients du premier ordre et que, par suite, il est inutile d'en calculer les valeurs au moyen des résultats de l'observation par la méthode des moindres carrés.

MÉMOIRES ET OUVRAGES PUBLIÉS.

I.

THÉORIE DU NAVIRE.

1. Courbures de la surface des centres de carène et de la surface des flottaisons. Théorèmes généraux.

Mémoires de la Société des Sciences naturelles de Cherbourg, t. XX, 1877.

Ces théorèmes sont les suivants :

1° *L'indicatrice de la surface des centres de carène est semblable à l'ellipse centrale d'inertie de la flottaison.*

2° *Si l'on considère deux flottaisons parallèles correspondant à des immersions* z *et* $z + dz$, *et que l'on désigne par* I_α *et* $I_\alpha + dI_\alpha$ *les moments d'inertie de leurs surfaces par rapport à une droite de direction* α *menée par leurs centres de gravité, la courbe obtenue en portant sur chaque direction une longueur proportionnelle à* $\frac{1}{\sqrt{\frac{dI}{dz}}}$ *est une conique (ellipse ou hyperbole) semblable à l'indicatrice de la surface des flottaisons.*

Le premier de ces théorèmes se déduit aisément des résultats acquis par Ch. Dupin; mais il n'avait pas encore été signalé depuis que les travaux de Poinsot ont appelé l'attention sur les ellipses d'inertie.

Quant au second, il était entièrement nouveau, car il n'existait rien alors sur l'indicatrice de la seconde surface. Il a été déduit d'une expression très remarquable, donnée par M. l'ingénieur *Émile Leclert* en 1870, des rayons de courbure des cylindres tangents à la surface des flottaisons.

2. Théorie de la houle.

Revue maritime, t. LIV, 1877.

La théorie de la houle, étudiée simultanément en France et en Angleterre, en vue de l'étude des roulis, a fait l'objet de nombreux et importants Mémoires de Sir Airy et de MM. Reech, Boussinesq, Bertin et de Benazé.

On a vérifié que la forme trochoïdale satisfaisait aux équations de l'Hydrodynamique; mais, l'intégration directe de ces équations n'ayant pas encore été obtenue, on ignore s'il peut exister d'autre forme du phénomène.

Cependant M. Bertin a fait faire un pas à la question : en ajoutant aux conditions du problème une condition nouvelle, d'ailleurs très vraisemblable, il a pu obtenir, par l'intégration, les équations de la houle trochoïdale. Dans le Mémoire cité ici, le sujet est traité au même point de vue, et avec la même rigueur, mais par des méthodes géométriques très élémentaires. Loin d'être moins fécondes que les méthodes analytiques très délicates employées jusqu'alors, ces méthodes ont permis d'établir en quelques mots la loi du mouvement du centre de gravité d'une masse liquide quelconque dans le phénomène. Cette loi importante avait été l'objet de recherches analytiques, restées infructueuses, dans un Mémoire antérieur sur la houle (*Revue maritime*, t. XLVI; 1875).

3. Théorie nouvelle de la stabilité de l'équilibre des corps flottants [1].

Revue maritime, t. LX; 1875.
Traduit et publié *in extenso* par Sir Edward J. Reed, dans son Traité sur la stabilité des navires; 1875.

Lors de la publication de ce Mémoire, le problème de la stabilité n'était traité que pour des dérangements ou des ébranlements infini-

[1] Cette théorie n'est exposée *in extenso* que dans le Mémoire original et dans la traduction anglaise de Sir Edward J. Reed.

ment petits; de plus, aucune des démonstrations du principe du métacentre n'était à l'abri de critiques. Le sujet est traité ici dans toute sa généralité et en toute rigueur. Les résultats obtenus sont les suivants :

1° *Conditions nécessaires et suffisantes à la stabilité de l'équilibre d'un flotteur quelconque;*

2° *Étant donné un flotteur en équilibre stable, si l'on imprime au système (liquide et flotteur) un dérangement ou un ébranlement quelconques, les oscillations que pourra prendre le flotteur dans la période d'agitation, définies par les positions que prendra dans le corps la verticale menée par son centre de gravité, seront limitées par un cône ayant ce point pour sommet et dont la forme peut être déterminée* a priori, *connaissant la quantité d'énergie troublante imprimée au système ;*

3° *L'absorption de l'énergie par les résistances passives a pour effet de réduire sans cesse l'ouverture du cône d'oscillation; ce cône se réduit à une ligne droite, la verticale d'équilibre, quand l'énergie a été totalement absorbée;*

4° *Si le flotteur est susceptible de plusieurs positions d'équilibre stable, il peut arriver que l'énergie troublante imprimée soit assez grande pour que le flotteur abandonne sa position primitive et se fixe dans une autre, c'est-à-dire vienne à* chavirer. *Ce cas ne peut se présenter que si le cône d'oscillation correspondant à l'énergie troublante contient, à l'origine, au moins deux normales d'équilibre; il arrive alors un instant où ce cône, en se fermant par la diminution de l'énergie, se divise en deux ou plusieurs cônes partiels contenant chacun une normale d'équilibre; et le flotteur viendra se fixer définitivement suivant la normale correspondant à celui de ces cônes dans lequel se trouvait la verticale au moment de son isolement. La quantité d'énergie nécessaire pour faire chavirer un flotteur est donc au moins égale à celle pour laquelle le cône d'oscillation est formé de deux cônes tangents. Cette quantité d'énergie constitue la mesure finie de la stabilité de la position considérée; elle peut être déterminée* a priori *pour toutes les positions d'équilibre d'un flotteur donné.*

Ainsi qu'on le voit, tous les côtés du problème ont été traités; les solutions sont obtenues par des méthodes très élémentaires, mais ri-

goureuses, c'est-à-dire sans autre réserve que l'incompressibilité du liquide et l'invariabilité du flotteur.

4. Variations de la stabilité des navires.

Revue maritime, t. LXXIX; 1883. — Mémoire récompensé de la première médaille d'or attribuée aux travaux adressés à la Revue maritime, par une Commission dont faisait partie M. Dupuy de Lôme.)

Ce travail traite principalement des variations que subit la stabilité d'un navire par suite de variations dans l'état du chargement. La solution de ce problème peut être déduite de la détermination, par les méthodes usuelles, de la stabilité du navire dans les deux états; mais on conçoit aisément combien, dans une question d'application aussi fréquente, une règle concise et exacte peut être utile, surtout à l'officier de marine, pour apprécier à vue les modifications que l'addition d'un chargement peut apporter aux qualités de son navire, et, d'autre part, à l'ingénieur pour choisir les formes les meilleures au point de vue qui nous occupe. La règle communément admise avant ce travail, dans l'enseignement classique, était que *l'addition d'un poids augmente ou diminue la stabilité initiale suivant qu'elle a lieu en dessous ou en dessus de la flottaison*. A cette règle, il est vrai, était jointe la réserve qu'il s'agissait d'un poids assez petit; mais cette circonstance n'ajoute rien à son exactitude, car la partie qu'elle néglige est du même ordre de grandeur que la partie conservée et peut même lui être supérieure.

Il résulte de ce Mémoire que, *pour obtenir le couple additif ou soustractif résultant de l'addition d'un poids, il suffit de considérer la courbe des flottaisons comme courbe des centres de carène d'un flotteur idéal dont le centre de gravité serait situé au lieu où le poids a été ajouté* (1).

La courbe des flottaisons qui, jusqu'alors, n'avait été envisagée

(1) Cette règle suppose que la tranche immergée est d'épaisseur négligeable. La théorie a été complétée, c'est-à-dire étendue aux variations quelconques de poids, dans un Chapitre de la *Théorie du Navire*. (*Voir* ci-après.)

qu'à un point de vue purement spéculatif, a acquis ainsi une importance pratique presque aussi grande que celle des centres de carène. Pour caractériser les nouvelles propriétés ainsi mises en lumière, j'ai donné à son centre de courbure initial le nom de *métacentre différentiel*, et à sa développée celui de *développée métacentrique différentielle*.

Il résulte de ces propriétés que la stabilité initiale reste constante, augmente ou diminue, suivant que le poids ajouté est placé au métacentre différentiel, au-dessous ou au-dessus de ce point.

J'ai montré en outre que, les formes des carènes étant sensiblement cylindriques dans la maîtresse partie, ce point était situé vers l'intersection des normales aux deux murailles à la flottaison pour le navire droit, et, pour le navire incliné, à égales distances des points où ces normales rencontrent la perpendiculaire élevée au milieu de la flottaison. Il résulte de là que, dans les embarcations, la stabilité croît avec l'embarquement du personnel, car les murailles sont évasées vers le haut de manière que leurs normales se croisent au-dessus du banc de nage; pour les navires à vapeur rapides, dont le chargement principal est formé par le combustible, ces normales doivent se croiser dans le voisinage du centre de gravité des soutes, si l'on veut que la stabilité varie peu pendant la consommation du combustible.

Indépendamment des questions relatives aux variations de poids, le Mémoire contient diverses applications des principes nouveaux de la stabilité différentielle aux questions relatives au lest liquide et à l'échouage. Il y est montré notamment qu'il peut arriver que la stabilité initiale augmente au début d'un échouage au lieu de diminuer, comme on l'admettait d'une manière générale.

La théorie de la stabilité différentielle ne s'applique pas seulement à la stabilité initiale, elle s'étend encore aux grandes inclinaisons, ainsi qu'à la stabilité dynamique. Elle donne en effet la mesure de l'accroissement ou de la diminution de la réserve d'énergie que possède un navire pour supporter sans danger l'action d'un couple d'inclinaison, par exemple celle d'une rafale venant frapper les voiles.

5. Pesanteur apparente à bord des navires à la mer.

Revue maritime, t. LXXXIV; 1885.

Les effets dynamiques des mouvements du navire à la mer sur le matériel embarqué n'avaient été étudiés, lors de la publication de ce travail, que dans des cas particuliers et principalement en vue des surcharges qu'apportent ces mouvements aux liens qui maintiennent le matériel du bord; c'est en effet ce côté de la question qui intéresse plus particulièrement l'ingénieur. Le problème est traité dans ce Mémoire à un point de vue nouveau, qui intéresse plutôt l'officier de marine, celui de la direction réelle de la force qui sollicite les corps suspendus en pendules à courte période, les petits niveaux liquides et les corps posés sur appuis, force à laquelle ces objets obéissent à la mer comme ils obéissent au mouillage à la pesanteur. J'ai donné à cette force le nom de *pesanteur apparente*, conformément à l'expression adoptée pour la résultante de la gravité et de la force centrifuge de la Terre, et à cause de l'analogie de ses effets à la mer avec ceux de la pesanteur au mouillage.

Le but de ce travail était de montrer la grandeur et les inconvénients des erreurs que l'on peut commettre en confondant, comme on le faisait communément alors, la verticale apparente avec la verticale vraie, de donner l'explication exacte des avantages réalisés en suspendant les instruments délicats tels que les chronomètres, et surtout de mettre fin aux recherches nombreuses ayant pour objet la réalisation d'un instrument fondé sur le principe des niveaux liquides pour la mesure des hauteurs des astres à la mer.

La confiance dans la verticalité des pendules à bord avait été fort ébranlée, il est vrai, par la publication des expériences de M. Froude, en Angleterre, et de M. Bertin, en France; mais il était loin d'en être de même pour les niveaux liquides dont les propriétés n'avaient pas eu l'occasion d'être signalées dans les travaux sur le roulis. Il suffit, pour justifier cette assertion, de citer quelques-uns des nombreux instruments fondés sur leur principe, proposés par des officiers et accueillis par les personnes les plus autorisées (*Amiral Lejeune*, Lunette

à niveau, *Revue maritime*, t. XLVII, 1875. — *Decante*, lieut. de vaisseau, Lunette à niveau, *Revue maritime*, t. LXXI, 1881; t. LXXIX, 1883; t. LXXXIII, 1884. — Cercle Renouf, *Comptes rendus*, t. XCVIII, 1884, etc.).

Après avoir déterminé la direction et l'intensité de la pesanteur apparente, j'ai montré théoriquement, et par une expérience exécutée à bord du *Borda*, que, même dans des mouvements d'une grande douceur, la verticale apparente des niveaux et des pendules, loin d'être utilisable pour la mesure des roulis, pouvait indiquer des inclinaisons contraires aux inclinaisons réelles. Pour ce qui concerne les hauteurs des astres, notamment, j'ai fait voir qu'un instrument tel que le cercle Renouf, entre les mains d'un observateur placé dans la nacelle d'une balançoire, imitant les mouvements d'un navire, tendait à donner l'angle de la direction de l'astre avec la corde de suspension à tout instant.

Depuis la publication de ce travail, aucune proposition nouvelle n'a été faite pour l'application à la mer des propriétés des niveaux.

J'ai montré également que la suspension des chronomètres avait pour effet, à la mer, de ranger ces instruments délicats par rapport à la verticale apparente comme ils le sont au mouillage par rapport à la verticale vraie, et que l'avantage de ce dispositif consistait en ce que les différentes pièces de l'instrument trouvaient leurs appuis disposés pour la pesanteur apparente comme ils le sont au repos pour la pesanteur vraie, etc., etc.

Enfin, dans le *Traité de Théorie du navire*, j'ai appliqué les conclusions de ce travail à l'analyse des causes des accélérations qui troublent les instruments à la mer et qui donnent le mal de mer au personnel. J'ai fait voir qu'en général, contrairement à l'opinion admise, les accélérations dues aux mouvements de roulis étaient négligeables relativement à celles qui résultent des mouvements de translation que prend la carène soulevée et abaissée successivement par le profil des ondes.

6. Développements de géométrie du navire.

En collaboration avec M. Simart, Mémoires des Savants étrangers, t. XXX.

L'objet de ce Mémoire est à la fois théorique et pratique : il consiste dans la détermination des équations de la courbe des centres de ca-

rène et de celle des flottaisons, connaissant l'équation des murailles du navire, dans le système de coordonnées rectangulaires adopté pour les plans de construction. On n'avait obtenu jusqu'alors que les expressions des rayons de courbure de ces deux courbes à l'origine, dues l'une à *Bouguer*, l'autre à M. l'ingénieur *Émile Leclert* (*Mémorial du Génie maritime*). *Bravais* avait donné, il est vrai, dans sa thèse pour le doctorat, une expression du deuxième coefficient du développement de l'équation de la courbe des centres de carène; mais cette expression était très compliquée, et la méthode employée par le savant officier de marine n'était pas susceptible d'être étendue à une approximation supérieure.

Ce Mémoire donne la loi générale de formation des coefficients successifs des deux équations, écrites sous la forme de développements, et montre notamment que ces coefficients sont des fonctions linéaires de quantités de la forme

$$\frac{d^n A^p}{dz^n} \quad \text{avec} \quad A^p = \int y^p \, dx,$$

l'équation des parois étant supposée de la forme

$$y = f(x, z),$$

et rapportée à un système d'axes : OX parallèle à la quille, OY horizontal et transversal, OZ vertical.

Indépendamment de l'intérêt théorique qu'offre ce Mémoire (¹), en établissant d'une manière définitive la loi complète de dépendance qui existe entre les courbes des centres de carène et des flottaisons et les parois du navire, la simplicité des résultats obtenus a permis dès maintenant d'en faire l'application pratique à la détermination des éléments de la stabilité des navires dont les formes sont continues, connaissant seulement les coordonnées rectangulaires fournies direc-

(¹) Il n'est pas inutile d'insister sur le caractère théorique, aussi bien que pratique, du Mémoire, car il paraît n'avoir été envisagé jusqu'ici exclusivement qu'au point de vue de son utilisation pratique immédiate. Les Ouvrages qui l'ont reproduit, au lieu de le classer dans la géométrie du navire, le placent, en effet, parmi les méthodes pratiques dans lesquelles les éléments de la stabilité sous des angles finis sont obtenus par des interpolations graphiques.

tement par les plans de formes. Des Tables donnant les 5es et 7es puissances des nombres, ainsi que des Tableaux pour l'exécution des calculs, ont été préparés en vue de cette application; ces Tables et Tableaux ont été imprimés et distribués aux Directions des constructions navales par l'Administration de la Marine.

Les conclusions pratiques de ce travail cessent évidemment d'être applicables quand les murailles deviennent discontinues, c'est-à-dire pour les inclinaisons correspondant à l'immersion du plat-bord; mais, appliquées dans ces limites, elles donnent des résultats identiques aux méthodes usuelles beaucoup plus laborieuses. L'expérience en a été faite pour un cuirassé, et pour les croiseurs *Surcouf* et *Dupuy-de-Lôme*.

Ce Mémoire, publié une première fois en 1887 dans la *Théorie du navire*, contenait d'importantes lacunes; repris en collaboration avec M. Simart, il fut complété, et l'Académie des Sciences en a décidé l'insertion au *Recueil des Savants étrangers*, t. XXX (séance du 14 mars 1887).

7. Théorie du navire.

1 vol. in-8°, Berger-Levrault et Cie, 1877; couronné par l'Académie des Sciences, 1887

Cet Ouvrage contient les théories précédentes coordonnées en corps de doctrine avec les résultats acquis antérieurement. Il contient en outre divers résultats nouveaux parmi lesquels :

1° *Influence de la forme du maître couple sur celle de la développée métacentrique à l'origine.* — Le bras du levier de la stabilité ne dépend pour les petites inclinaisons que de la hauteur du métacentre au-dessus du centre de gravité; mais, quand l'inclinaison augmente, il croît ou décroît plus ou moins rapidement, suivant que la développée est ascendante ou descendante à l'origine. Il était donc intéressant de connaître l'influence des formes extérieures des navires sur celle de la développée. De l'analyse des propriétés du flotteur cylindrique à section elliptique, flottant le grand axe ou le petit axe vertical, on avait pensé pouvoir conclure que la développée était ascendante ou descendante suivant que le rayon de courbure des normales aux murailles à la flottaison allait en croissant ou en décroissant. J'ai montré

que cette propriété dépend de la grandeur du rayon de courbure de la muraille et non de sa variation, c'est-à-dire que la développée est descendante ou ascendante suivant que le centre de courbure est du même côté de l'axe que la muraille ou de l'autre côté de l'axe.

2° *Variations de la stabilité pour des additions de poids considérables.* — La théorie de la stabilité différentielle ne considère que des changements de poids assez petits pour que l'on puisse négliger l'épaisseur de la tranche immergée. Je montre ici que les solutions des problèmes relatifs à des variations de poids quelconques sont données, sous la même forme, par la considération d'une nouvelle surface idéale dont les propriétés géométriques et mécaniques offrent une analogie complète avec celles des centres des isocarènes et des flottaisons. Cette surface est le lieu géométrique des centres des tranches comprises entre deux flottaisons qui détachent l'une et l'autre deux volumes constants.

Cette théorie nouvelle offre l'avantage de réunir en un même sujet les questions de stabilité proprement dite avec celles des variations de stabilité, puisqu'il suffit, d'une part, d'y supposer le déplacement de la tranche égal au déplacement du navire pour obtenir les éléments de la stabilité de la carène totale, et, d'autre part, de supposer la tranche infiniment mince pour obtenir ceux de la stabilité différentielle.

3° Les Chapitres relatifs au *Navire en mouvement* sont consacrés surtout à l'analyse des actions obliques du vent et de l'eau sur les navires. Les coefficients empiriques qui servent à comparer les navires entre eux à ce point de vue sont déduits, d'après Euler et Bouguer, des propriétés attribuées aux plans minces. Je montre que les résistances aux mouvements obliques, qui sont les principaux agents des évolutions, satisfont à des lois dont les hypothèses usuelles ne tiennent pas compte, mais qu'il est cependant nécessaire de considérer pour expliquer les mouvements spontanés des navires, soit dans les halages obliques, soit dans les dérives.

4° Le Chapitre relatif aux *girations* contient une analyse spéciale des mouvements du navire dans les évolutions rapides à la vapeur. J'ai montré que la courbe qui intéresse le marin dans les manœuvres n'est pas la trajectoire du centre de gravité que l'on considérait habituellement, mais l'enveloppe des positions du plan longitudinal. J'ai signalé

cette propriété particulièrement intéressante que le point de contact de l'axe longitudinal avec son enveloppe était fixe et situé tout près de l'avant. Cette propriété permet de déduire du rayon de giration seul la trajectoire de l'arrière du navire et, par suite, la distance à laquelle le manœuvrier doit laisser les dangers situés du côté opposé à l'abatée pour ne pas risquer de les aborder par l'arrière.

J'ai signalé également cette propriété que, au moment où le navire commence son évolution, l'avant continue à se mouvoir en ligne droite, pendant que son arrière est rapidement lancé en travers de la route. Par suite, la manœuvre du gouvernail ne peut pas empêcher l'abordage d'un obstacle qui se présente subitement sur l'avant. Elle a seulement pour effet de changer l'angle d'attaque.

J'ajouterai enfin que tout le cours de l'Ouvrage contient de nombreuses applications des principes généraux aux faits particuliers qui intéressent les marins.

8. Cours de théorie du navire de l'École navale.

1880-1881, autographié, cité ici pour mémoire.

C'est un abrégé plus élémentaire de la *Théorie du navire* publiée cinq ans plus tard.

9. Note sur les calculs de stabilité des navires.

Comptes rendus, avril 1893, présentée par M. de Bussy.

Pour les navires dont les formes sont discontinues, les éléments de la stabilité des navires sous les grandes inclinaisons se déduisent, par des méthodes d'interpolation graphique, de courbes déterminées par un certain nombre de points, dont les coordonnées sont obtenues par de laborieux calculs.

J'ai montré, dans cette Note, que, en utilisant d'une nouvelle manière certains éléments auxiliaires de ces calculs, on obtenait facilement les directions des tangentes aux courbes d'interpolation, et que,

par suite, l'application de cette remarque permettra désormais d'obtenir, à égalité de travail, une précision supérieure, ou, à égalité de précision, une réduction importante des calculs.

Il résulte d'une communication ultérieure de M. Doyère, sous-directeur de l'École du Génie maritime, que les avantages de cette remarque peuvent être étendus à la nouvelle méthode ingénieuse qu'il a imaginée et pour laquelle l'Académie lui a décerné une partie du prix de la Marine en 1892.

II.

NAVIGATION.

---

1. Courbes de hauteur.

Cours autographié de l'École navale, 1881-1882, et Cours d'Astron., par M. Caspari, t. II, p. 241 et suiv.

On nomme ainsi en Navigation les courbes qui représentent sur la Carte de Mercator les cercles de la Terre. Depuis la généralisation de l'emploi de la méthode des lieux géométriques pour la détermination du point, l'étude de ces courbes a acquis une grande importance; la mesure d'une hauteur à la mer, à un instant donné d'un chronomètre réglé, fournit en effet à l'observateur, pour lieu géométrique de la position du navire, le petit cercle de la Terre qui a pour centre la projection de l'astre et pour rayon sphérique sa distance zénithale. L'analyse des propriétés de ces courbes avait fait l'objet de divers Mémoires de MM. Estignard, Fasci, Yvon Villarceau, Hilleret. Ces auteurs avaient été conduits à les classer en trois catégories : 1° les *courbes ovales* représentant les cercles qui laissent les deux pôles hors de leur contour; 2° les courbes ondulées (comme la sinusoïde) représentant ceux qui séparent les pôles; 3° enfin les courbes en forme de parabole représentant les cercles passant par un des pôles.

En étudiant la question en vue du Cours dont j'étais chargé, j'ai été conduit aux propriétés suivantes, qui, malgré leur importance, n'avaient pas été aperçues :

1° *Les courbes ovales qui représentent des cercles inscrits dans un même fuseau sont superposables;*

2° *Les courbes ondulées sont superposables lorsque les cercles qu'elles*

représentent sont inscrits entre des parallèles dont la distance sur la Carte de Mercator est la même ;

3° *Il n'existe pas une famille de courbes en forme de parabole, mais une courbe unique, de sorte que tous les cercles passant par un pôle sont représentés par une même courbe dont la position seule varie sur la Carte.*

J'ai montré enfin que les grands cercles qui faisaient jusqu'alors l'objet d'un paragraphe spécial dans les programmes d'enseignement rentraient dans la deuxième catégorie, c'est-à-dire qu'une même courbe de cette catégorie représentait soit un grand cercle, soit un petit cercle, suivant sa position sur la Carte par rapport à l'équateur.

Il résultait de ces propriétés que la forme d'une de ces courbes ne dépendait que d'un paramètre, sa hauteur sur la Carte, et que, par suite, pour la tracer, il suffisait de connaître ce paramètre et la position de son centre.

Cette considération m'a permis de faire connaître une méthode nouvelle pour résoudre le problème du point avec les Tables de latitudes croissantes (*voir* ci-après : *Tables de poche*).

2. Distances lunaires.

Cours autographié de l'École Navale, 1883-1884.

Sur la foi d'une théorie incomplète des erreurs, il était admis que l'influence des erreurs des hauteurs sur la distance réduite était d'autant plus grande que la distance considérée était plus petite. Cependant l'expérience, maintes fois répétée, ayant montré que les distances de 10° à 15° donnaient généralement des résultats plus précis que les grandes distances, on cessa de bannir ces dernières, expliquant la contradiction manifeste entre la théorie et l'application par ce fait que la facilité d'observation des petites distances compensait et au delà l'influence agrandie des erreurs des hauteurs.

Une étude nouvelle de la question m'a conduit à montrer que cette contradiction n'existait pas et que le problème n'avait pas été envisagé sous son véritable aspect dans les théories antérieures. Il existe en

effet deux méthodes de réduction : dans la première, on observe directement les hauteurs nécessaires au problème, dans la seconde, on les déduit par le calcul d'un *point* observé antérieurement. Dans le premier cas, les erreurs des hauteurs sont indépendantes l'une de l'autre, et il est exact de dire que les petites distances sont alors dangereuses; dans le second, ces erreurs dépendent du point qui a servi à les calculer, et alors leur influence est *indépendante de la grandeur de la distance.* Il y a donc, non pas compensation, mais tout avantage à choisir les plus petites distances dont l'observation est beaucoup plus aisée.

L'avantage, il est vrai, n'existe que pour la deuxième méthode de réduction ; mais c'est cette méthode qui est exclusivement employée aujourd'hui à cause des difficultés pratiques de l'observation simultanée de deux hauteurs et d'une distance.

3. Tables de poche, donnant le point observé et les droites de hauteur.

1 vol. in-16, Berger-Levrault et Cie, 1884.

Les propriétés qui ont servi de base aux méthodes de calcul indiquées dans ces Tables sont déduites de celles des courbes de hauteurs mentionnées plus haut. Les *Tables de poche* ne contiennent que les *Latitudes croissantes* calculées de minute en minute en vue de la construction des cartes de Mercator; elles suffisent néanmoins, à l'exclusion de toute autre Table de logarithmes, pour calculer le point à la mer et par une méthode très expéditive. De sorte qu'avec un petit fascicule d'une vingtaine de feuillets et de format assez petit pour être inséré dans un portefeuille, l'officier de marine est en mesure de résoudre un problème qui, avec les autres méthodes, exige l'emploi de volumineuses Tables de logarithmes.

Bien que les règles à suivre pour faire usage de ces Tables soient très simples, leur démonstration est un peu longue et un peu délicate; aussi ne m'a-t-il pas paru opportun de la donner dans le Recueil. Elle n'a été publiée que quatre ans plus tard dans la Note ci-après.

4. Calcul du point observé à l'aide des Tables de Latitudes croissantes.

Annales hydrographiques, 1888.

5. Nouveau système de planisphère.

Annales hydrographiques, 1887, et Revue maritime; Comptes rendus, 1886.

Ce système de projection est déduit d'un mode de représentation géométrique des *fonctions elliptiques*. Les seuls modes de projection appliqués par les géographes à la sphère entière et qui conservent les angles sont la projection de Mercator et la projection stéréographique. Le premier offre l'inconvénient de ne pas contenir les pôles et d'agrandir avec exagération les régions placées au nord des continents; le second offre celui non moins grand de représenter les deux hémisphères dans des cartes distinctes.

Le système dont il s'agit ici conserve, comme les précédents, la similitude des petites régions, et fournit l'image de la sphère entière dans une figure unique et sans déchirure. Il est particulièrement propre à la représentation de l'ensemble des deux continents dont il fait bien ressortir les positions relatives, soit en longitude, soit autour des pôles. Enfin les variations de l'échelle, dans l'étendue des continents, sont assez faibles pour que les figures d'ensemble soient peu altérées, et que les grandeurs relatives de régions éloignées restent aisément comparables.

Dans ce mode de projection, la sphère est supposée recouverte d'un réseau formé par deux familles d'ellipses sphériques homofocales et par suite orthogonales. Les quatre foyers sont placés à une même distance arbitraire des deux pôles sur un même méridien. Ces deux familles d'ellipses sont représentées sur la carte par deux familles de droites orthogonales, dont l'espacement est déterminé par la condition de conserver la similitude des régions. Par suite, les méridiens et les parallèles de la Terre sont représentés par un réseau de courbes orthogonales.

La projection de Mercator est le cas particulier de ce mode général dans lequel les quatre foyers coïncident avec les pôles.

6. Prédiction des éclipses du Soleil pour l'année 1891.

Annales hydrographiques, 1891.

Les éclipses de Soleil, qui fournissent un moyen rapide et facile de déterminer les longitudes, ne sont pas employées par les marins à cause des calculs préliminaires qu'exige cette méthode, d'abord pour s'assurer que le phénomène est utilisable dans le lieu d'observation, puis pour déterminer les instants approchés des diverses phases. Il existe, il est vrai, des constructions graphiques donnant ces résultats; mais, pour obtenir une précision suffisante, ces épures doivent être tracées avec beaucoup de soin, et leur emploi devient alors plus long et plus délicat que les calculs eux-mêmes.

Cette Note contient deux épures faites d'avance pour tous les lieux de la Terre; il suffit de quelques traits pour les compléter, c'est-à-dire pour obtenir dans un lieu quelconque l'image du phénomène et les instants de ses phases.

La publication d'une épure de ce genre pour chacune des éclipses qui doivent se produire dans le cours de l'année suivante faciliterait notablement l'utilisation de ces phénomènes à la mer.

7. Communications au Bureau des Longitudes.

Mémoire manuscrit présenté en 1886, contenant diverses propositions relatives à la *Connaissance des Temps* en vue de faciliter les calculs de navigation. Ce Mémoire, accueilli avec bienveillance par le Bureau, a été l'occasion de diverses améliorations. Les heures des passages des planètes au méridien ont été données à la seconde et leurs insertions ont été étendues à toutes les époques où ces astres sont observables hors du méridien.

La *Connaissance des Temps* donne également depuis cette époque les dates locales des temps locaux des passages de la Lune au méridien, sans lesquelles les marins étaient obligés autrefois de faire un calcul préliminaire pour éviter les erreurs de date.

Mémoire manuscrit présenté en mai 1893, contenant diverses propositions relatives aux Éphémérides nécessaires aux navigateurs, et à la suite duquel le Bureau des Longitudes a bien voulu décider l'insertion, dans l'*Extrait de la Connaissance des Temps* destiné aux marins, de l'angle horaire des planètes à midi moyen.

Note présentée en 1889 par M. Bouquet de la Grye, faisant remarquer que les corrections indiquées par Newcomb pour l'ascension droite et la déclinaison de la Lune ne font pas sortir sensiblement cet astre de la trajectoire que lui attribuent les Tables de Hansen, et que, par suite, on peut tenir compte de ces deux corrections à la fois par une correction unique de l'instant de l'éphéméride. De plus, l'examen de la valeur de cette correction montre qu'elle augmente uniformément de 0,1 seconde par mois.

8. Nouvelles Éphémérides astronomiques pour l'année 1891.

Cet Ouvrage a été publié à titre de spécimen pour faire connaître une nouvelle forme d'Éphémérides ramenant tous les calculs à la mer à un type unique, quel que soit l'astre observé.

9. Participation aux travaux hydrographiques du commandant Mouchez en Tunisie (1876).

10. Travaux hydrographiques partiels dans les fleuves de Cochinchine (1873-1874).

III.

LES INSTRUMENTS DE NAVIGATION.

1. Description et usage des instruments nautiques.

Imprimerie nationale, 1889. Publication du service hydrographique de la Marine.

Cet Ouvrage est le premier de cette nature qui ait été publié en France. Il contient, avec la description des instruments de précision réglementaires sur les bâtiments de l'État, les principes théoriques sur lesquels ils sont fondés, ainsi que les indications nécessaires à leur emploi. On y trouve notamment une théorie succincte des déviations des compas présentée sous une forme nouvelle; il y est montré que la force qui trouble les indications de l'aiguille est la résultante de trois forces constantes en intensité et fixes par rapport à trois systèmes d'axes qui tournent suivant une loi simple l'un par rapport à l'autre. Cette remarque a conduit à la construction de deux nouveaux *dygogrammes* (diagrammes donnant l'intensité et la direction de la force) composés de deux cercles et dont, par suite, le tracé est beaucoup plus simple que les constructions indiquées antérieurement, qui contiennent soit des ellipses, soit le limaçon de Pascal.

Les propriétés mécaniques des roses des compas ont été également analysées, et il y est indiqué un principe nouveau, savoir que ces objets doivent être construits de manière que les balancements autour d'axes horizontaux soient rapides.

Cet Ouvrage a été l'objet d'un prix de l'Académie des Sciences en 1892.

2. Cercle à calcul pour micromètre Fleuriais.

La mesure des distances des navires entre eux à la mer s'imposant fréquemment, soit dans les manœuvres d'escadre, soit dans le combat, M. le contre-amiral Fleuriais a eu l'idée de faire construire un sextant

de petites dimensions spécialement destiné à cet emploi. Grâce aux dispositions de détail très ingénieuses de l'instrument, son emploi, jugé extrêmement pratique par tous les officiers, a été rendu réglementaire à bord des navires de l'État. Le cercle à calcul dont il s'agit ici est un accessoire du micromètre Fleuriais, destiné à fournir à vue la distance d'un navire, connaissant sa hauteur de mâture et l'angle sous lequel cette hauteur est aperçue. Il est basé sur le principe de la règle à calcul et sur cette propriété que, dans les limites des grandeurs angulaires que peut mesurer le micromètre, la tangente est proportionnelle à l'arc.

3. Déviations des compas placés sous cuirasse.

Note aux Comptes rendus, juin 1893, présentée par M. Sarrau.
Annales hydrographiques, 1893.

Ce Mémoire est consacré à l'étude théorique et expérimentale des déviations des compas placés dans des locaux où le magnétisme induit a une influence considérable sur les déviations.

M. Faye a montré, dans son *Traité d'Astronomie nautique*, que l'addition de termes d'ordre supérieur à la série trigonométrique, employée usuellement pour exprimer les déviations, pouvait être nécessaire pour réduire les différences entre les résultats du calcul et ceux de l'observation aux limites des erreurs de mesure. Je fais voir par divers exemples que ces termes sont indispensables pour les compas sous cuirasse, mais qu'il n'est pas nécessaire, pour les obtenir, de les déduire directement des observations comme les termes du premier ordre.

La théorie mathématique des déviations montre en effet que les termes d'ordre supérieur sont des fonctions de ceux du premier ordre, et la comparaison des valeurs déduites des observations par la méthode des moindres carrés et de celles auxquelles conduit cette propriété témoigne une fois de plus de l'accord entre la théorie et l'observation.

Au point de vue de la compensation, ce Mémoire conclut à l'insuffisance d'un système de correcteurs adapté par divers inventeurs aux compas pour éviter l'encombrement des sphères de Sir William Thomson.

IV.

DIVERS TRAVAUX.

---

1. Cinématique et dynamique des ondes courantes sur un sphéroïde liquide. Application à l'évolution de la protubérance d'un sphéroïde déformé par l'attraction d'un astre éloigné.

(Journal de Mathématiques pures et appliquées, 3e série, t. V, février 1879.)

2. Note sur les approximations numériques.

(Nouvelles Annales de Mathématiques; 1889.)

3. Traité de Trigonométrie rectiligne et sphérique.

(Berger-Levrault et Cie, 1 vol.; 1890.)

4. Sur une solution élémentaire du problème du giroscope de Foucault.

(Comptes rendus; 1888.)

5. Note relative à l'erreur probable d'un système d'observations.

(Comptes rendus; 1888.)

6. Cours d'Astronomie.

En cours de publication.

Cet Ouvrage est fait en collaboration avec M. Willotte, Ingénieur des Ponts et Chaussées, en vue des officiers de marine.

TITRES ET FONCTIONS SCIENTIFIQUES.

1. Médaille d'or de la *Revue maritime* en 1884. (*Variations de la stabilité des navires.*)

2. Deux fois lauréat de l'Institut. (1887, *Théorie du navire;* 1891, *Description et usage des instruments nautiques.*)

3. Mémoire inséré au tome XXX du *Recueil des Savants étrangers.* (*Développements de géométrie du navire,* en collaboration avec M. Simart.)

4. Professeur à l'École Navale de théorie du navire, de 1880 à 1882, et d'Astronomie et de Navigation, de 1882 à 1886.

5. Examinateur d'admission à l'École Navale, depuis 1884.

6. Chef du service technique des instruments de navigation, depuis 1886.

SERVICES MILITAIRES.

1860. Entré à l'École Navale.

1862. Aspirant.

1866. Enseigne de vaisseau.

1870. Lieutenant de vaisseau (au choix).

1886. Capitaine de frégate.

Services effectifs : Trente-trois ans, dont dix-neuf d'embarquement. Deux années de commandement (1872-1874).

Campagnes lointaines : *Guyanes. — États-Unis et Cuba. — Cochinchine. — Tunisie et Tripolitaine.*

TABLE DES MATIÈRES.

19885 Paris. — Imprimerie Gauthier-Villars et fils, quai des Grands-Augustins, 55.